

14. Тимошенко С.Н. Моделирование системы аспирации электродуговой печи с целью повышения энергоэффективности и экологической безопасности / С.Н. Тимошенко, П.И. Тищенко, Н.С. Тимошенко, А.Н. Семко // Экология и промышленность. Харьков: «УкрНТИЦ «Энергосталь», 2013. №2(35). С. 66-69.
15. Toulouevski Yu.N., Zinurov I.Y. Innovation in Electric Arc Furnaces. Scientific Basis for Selection // Berlin: Springer, 2010. – 258 p.
16. Howell J., Pinar Menguc M., Siegel R. Thermal Radiation Heat Transfer, 5th Edition // CRC press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, London, New York, 2011. 987 p.
17. Mazumdar D. The Physical and Mathematical Modeling of Gas Stirred Ladle Systems / D. Mazumdar, R. Guthrie // ISIJ International. 1995. Vol. 35. № 1. P. 1-20.
18. Ghosh A. Secondary Steelmaking. Principles and Applications / CRC Press, 2000. 344 p.
19. Сериков В.А. Угар металла и нагрев шихты в расплаве в дуговых электропечах / В.А.Сериков, Р.А Бикеев., М.В.Чередниченко, В.С Чередниченко // Электрометаллургия. 2015. № 9. С.2-8.
20. Румянцев В.Д., Ольшанский В.М. Теплотехника: учебное пособие / Под ред. В.И. Губинского. – Днепропетровск: Пороги, 2002. – 325 с.
21. Guézennec A.G., Huber J.C., Patisson F., Sessiecq Ph., Birat J.P., Ablitzer D. Dust Formation by Bubble-burst Phenomenon at the Surface of a Liquid Steel Bath // ISIJ International. 2004. Vol. 44. No. 8. Pp. 1328-1333.
22. Дорошенко А.В. Комбинированный водоохлаждаемый свод дуговых электропечей малой вместимости / А.В. Дорошенко, Б.П. Дядьков, С.Н. Тимошенко, П.И. Тищенко // Metallургическая и горнорудная промышленность. 2017. № 5. С. 91-95.
23. Шумаков В.Ф. Дуговая печь малой вместимости для литейных цехов и региональных микро-заводов / В.Ф Шумаков, А.И. Малахов, А.В. Буряк, В.В. Голик, М.П. Анацкий, С.Н. Тимошенко, П.И. Тищенко // Metallургическая и горнорудная промышленность. 2017. № 3. С. 107-112.

УДК 669.04

**Н. А. Томилов, В. А. Гольцев**

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

## **РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ГАЗОВОЙ ТИГЕЛЬНОЙ ПЕЧИ ДЛЯ ПЛАВКИ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ**

### **Аннотация**

*Целью работы являлась оценка теплотехнических характеристик и выработка технических решений для повышения эффективности тепловой работы газовой тигельной поворотной печи, предназначенной для плавления медных и алюминиевых сплавов из ломов, уста-*

новленной в плавильном цехе ЗАО НПФ «Металл-Комплект». Определены направления реконструкции печи и выработаны технические решения поставленной задачи. Проведена конструктивная проработка объекта, не требующая значительных капитальных затрат. Сформирован план исследований для оптимизации тепловых режимов с применением программной системы конечно-элементного анализа.

**Ключевые слова:** тепловой режим; газодинамика; топливосжигающее устройство; рекуперация; моделирование.

#### **Abstract**

*The aim of this work was to evaluate the thermal characteristics of the rotary gas crucible furnace, designed for melting copper and aluminum alloys from scrap, established in the melting shop NPF "Metal-Komplekt". The directions of reconstruction of the furnace are determined and technical solutions of the task are developed. A constructive study of the facility does not require significant capital expenditures. A research plan has been developed to optimize thermal regimes using a program system of finite element analysis.*

**Key words:** Thermal regime; fluid dynamics; fuel-burning device; recuperation; simulation

Современные газовые плавильные печи промышленного исполнения позволяют точно регулировать температуру внутри рабочего пространства. Известен ряд производителей, использующих экономичные системы нагрева, основанные на современном надежном горелочном оборудовании (Kromschroeder, Weishaupt) [1, 2].

Однако, ряд производителей цветных металлов, с целью снижения капитальных затрат и себестоимости продукции, применяют оборудование собственного производства или устаревшие модели печей с низким КПД, связанным с применением низкоэффективных горелочных устройств.

Объектом послужила газовая тигельная поворотная печь, предназначенная для изготовления медных и алюминиевых сплавов из ломов и разлива расплава в чушки, установленная в плавильном цехе ЗАО НПФ «Металл-Комплект».

Оценка теплотехнических характеристик объекта показала, что наибольшая величина тепловых потерь связана с отходящими дымовыми газами и составляет 59,9%. Потери теплопроводностью через футеровку составляют 18,33 %.

Тепловые потери через футеровку возможно уменьшить лишь применением более эффективных огнеупоров с низкой теплопроводностью. При замене футеровки применили «мокрый войлок» ВРП–300 производства ООО «Волокнистые огнеупоры» [3], который выпускается в виде рулонов различной длины и ширины с толщиной до 250 мм и предельной температурой применения до 1350 °С.

Низкий КПД печи (11,34 %) в первую очередь связан с тем, что в данной конструкции не используется тепло уходящих газов. Рекуперация продуктов сгорания является наиболее перспективным способом экономии топлива и повышения эффективности тепловой работы печей с газовым отоплением. Установка внешнего рекуператора, принимая во внимание, что печь поворотная, слишком сложна и экономически нецелесообразна.

При реконструкции печи с заменой горелки, то оптимальным является вариант применения рекуперативной горелки, поскольку в данном случае реализуется высокотемпературный подогрев воздуха (до 600 – 700 °С). Горелки распо-

лагаются непосредственно на печи, исключаются потери теплоты на пути движения продуктов сгорания к рекуператору, отсутствуют трубопроводы горячего воздуха, нет необходимости в дополнительной теплоизоляции самих горелок.

Рассматривая различные варианты, остановились на применении двух скоростных рекуперативных горелок ГСР–150 [4], которые могут работать в режиме как плавного, так и двухступенчатого (импульсного) автоматического управления тепловой мощностью.

Таким образом, предварительная проработка объекта привела к следующим конструктивным изменениям: герметизация рабочего пространства за счет применения футерованной крышки, использования для теплоизоляции волокнистых огнеупоров и замена горелочных устройств на рекуперативные газовые горелки ГСР–150. Схема движения газовых потоков в предлагаемом варианте проектируемой печи приведена на рис.1.

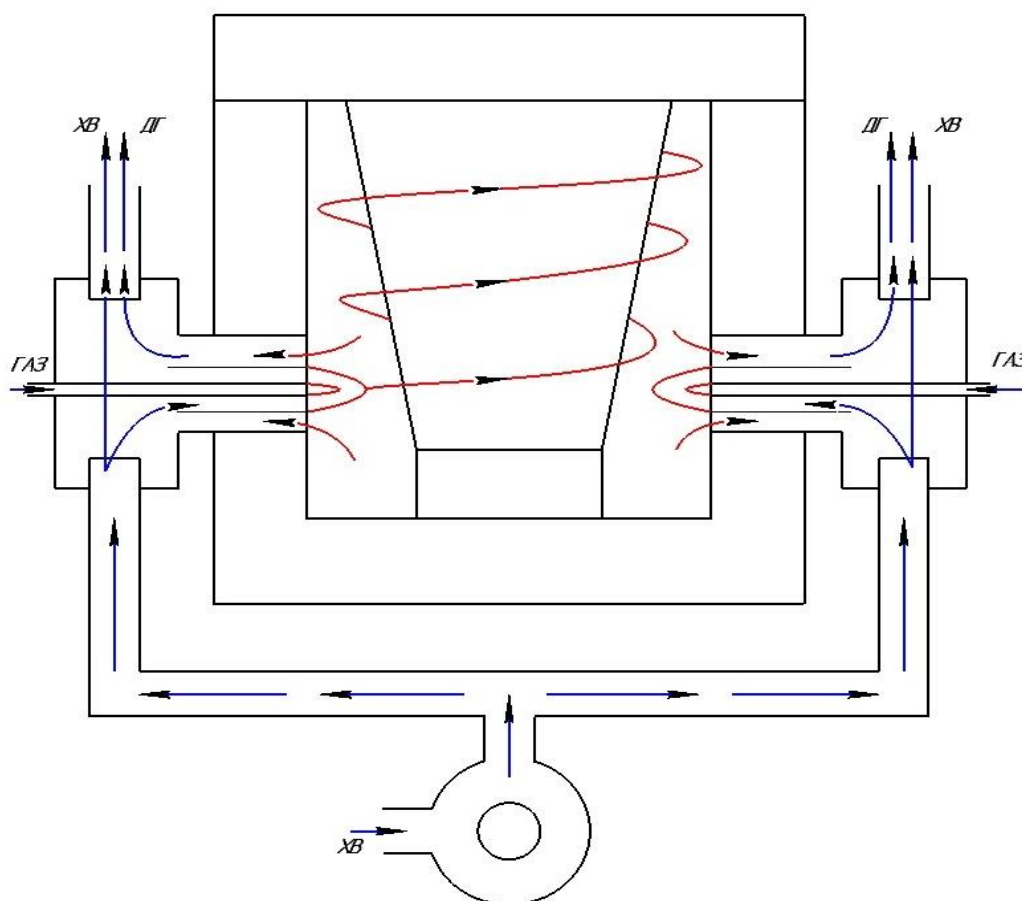


Рис. 1. Схема движения газовых потоков

Аналитический расчет теплотехнических показателей предлагаемого варианта реконструкции показывает значительное снижение расхода газа (до 60 %) и повышения расчетного КПД печи до 23 %.

Основной задачей конструкторской проработки являлась компоновка предлагаемых технических решений разрабатываемой печи с минимальными измене-

ниями деталей базового плавильного агрегата. Для проектирования узла отопления печи использованы установочные размеры горелки ГСР 150 по чертежам производителя.

Компоновка навесного оборудования и замена футеровки произведены без изменения несущих конструкций и геометрических параметров печи согласно проектной документации.

В настоящее время конструирование современных печей различной производительности и назначения включает в себя предпроектное исследование, которое заключается в компьютерном моделировании комплекса связанных теплообменных процессов: циркуляции печных газов, горение топлива, теплообмена и температурного поля газов в рабочем пространстве печи. К переменным эксплуатационным и конструктивным параметрам установки при моделировании относятся: вид топлива, геометрические параметры рабочего пространства, схема циркуляции печных газов, единичная мощность, количество и расположение горелочных устройств, скорость топлива и воздуха на выходе из горелочных каналов, а также взаимное размещение каналов для ввода в печь топлива и воздуха.

Одной из первоочередных задач повышения энергоэффективности газовой тигельной печи является создание адекватной математической модели, содержащей в явном виде все необходимые для определения энергетических показателей технологические величины и конструктивные параметры рассматриваемых объектов.

Это даст возможность вычислительными методами решать следующие задачи:

- конструктивная и технологическая оптимизация по указанному критерию эффективности;
- оценка тепловой нагрузки печи в рабочем пространстве;
- распределение температурного поля внутри рабочего пространства.

Способом решения поставленных задач выбрано компьютерное моделирование процессов с использованием программного комплекса ANSYS, универсальной программной системой конечно-элементного анализа [5].

### **Список использованных источников**

1. Официальный сайт Kromschroeder [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kromschroeder.de> (дата обращения: 25.11.2017).
2. Официальный сайт Weishaupt [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.weishaupt-corp.com> (дата обращения: 25.11.2017).
3. Волокнистые огнеупоры: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mastermvo.ru> (дата обращения: 19.07.2017).
4. Барташ М.Р. Новая скоростная рекуперативная газовая горелка для прямого нагрева металла в промышленных печах / Барташ М.Р., Дружинин Г.М., Лошкарев Н.Б., Попов А.Б., Хамматов И.М. // Сталь. 2010. № 3. С. 125-127.
5. Федорова Н.Н. Основы работы в ANSYS 17 / Федорова Н.Н., Вальгер С.А., Данилов М.Н., Захарова Ю.В. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 210 с.

УДК 669:373.167.1

**Е. В. Торопов<sup>1</sup>, Л. Е. Лымбина<sup>1</sup>, Ю. Г. Ярошенко<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», г. Челябинск, Россия;

<sup>2</sup> ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

## **АДАПТАЦИЯ РАДИАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ТОПЛИВ В ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР 1000...2000 К**

### **Аннотация**

*Точность расчетов теплообмена излучением от потока высокотемпературного газа, полученного при сжигании природных топлив, в значительной степени зависит от точности и представительности данных о теплофизических свойствах газов и величине радиационного теплового потока. Основную физическую нагрузку несет плотность собственного теплового потока, но все экспериментальные данные по излучению газовых смесей представлены в виде интегральной степени черноты компонентов и смеси в целом. Поэтому в работе определяется степень черноты углекислоты и водяного пара как основных составляющих продуктов сгорания промышленного топлива. На основе надежных экспериментальных данных разработаны зависимости, позволяющие производить расчеты степени черноты продуктов сгорания. Определена точность расчетного приближения экспериментальных данных в поле двух факторов – оптической плотности газа и его температуры. Результаты работы рекомендуется применять при разработке программ расчета теплообмена.*

**Ключевые слова:** *степень черноты, поток излучения, температура, углекислота, водяной пар.*

### **Abstract**

*The accuracy of calculating heat exchange by radiation from high-temperature gas flow produced during natural fuels combustion to a large extent depends on the accuracy and status of data on thermophysical properties of gases and the value of the radiative heat flux. The main physical load is carried by the density of the intrinsic heat flux, but all the experimental data on gas mixtures radiation are given as a total emissivity of the components and the mixture in general. That is why this study determines the emissivity factor of carbon dioxide and water vapour as the main constituents of the products of industrial fuel combustion. Dependencies are developed based on reliable experimental data and allow to perform emissivity factor calculations for the products of combustion. The accuracy of calculated approximation is determined for experimental data in the field of two factors: optical density of gas, and its temperature. The study results are recommended to be used for developing heat exchange calculation programs.*

**Key words:** *emissivity factor, radiation flux, temperature, carbon dioxide, water vapour.*

**Введение.** При разработке математических моделей сложных теплоэнергетических и теплотехнических систем, работающих при температурах 1000...2000 К, необходима адаптация разрозненных экспериментальных данных по излучению компонентов, входящих в различных пропорциях в состав продуктов сгорания. Аналогичные задачи встают при проектировании высокотемпературных агрегатов, при их испытании и моделировании с переходом на новый